

04;12
©1994

УДАЛЕНИЕ ОКИСЛОВ СЕРЫ ИЗ ИОНИЗОВАННОГО ВОЗДУХА В СЛАБОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Д.Л.Кузнецов, Г.А.Месяц, Ю.Н.Новоселов

В последнее время интенсивно ведутся исследования, направленные на создание электрофизических технологий очистки дымовых газов тепловых электростанций от токсичных окислов серы. Очистка газов осуществляется в результате их ионизации электрическими разрядами либо электронными пучками и протекания в ионизованном газе плазмохимических реакций с участием свободных радикалов, заряженных и возбужденных частиц. Удаление токсичных окислов осуществляется реакциями окисления SO_2 до серной кислоты и при добавлении аммиака реакциями связывания кислоты с образованием солей аммония в виде порошка [1]. Показано [2,3], что применение для ионизации дымовых газов импульсных пучков электронов с оптимальной плотностью тока позволяет получить низкие энергетические затраты на удаление одной токсичной молекулы за счет реализации цепного механизма окисления SO_2 . В [4] предложено использовать для интенсификации цепного механизма наложение на ионизованный с помощью электронного пучка газ внешнего электрического поля с низкой напряженностью. Целью настоящей работы являлось экспериментальное определение диапазона напряженности электрического поля, в котором удаление SO_2 происходит наиболее эффективно.

Для проведения экспериментов использовалась установка, аналогичная [5] и подробно описанная в [6]. В состав установки входит импульсный ускоритель электронов с плазменным катодом и радиально расходящимся пучком. Энергия электронов пучка 180–250 кэВ, максимальный ток пучка достигал 11 А при сечении выводного окна 1.44 м^2 . В экспериментах использовался импульс тока пучка с длительностью на полувысоте 48 мкс, при которой в [5] получено минимальное значение энергетических затрат на удаление одной молекулы SO_2 . Облучаемый газовый объем 170 л заключался между заземленным выводным окном и металлическим цилиндром, к которому была подключена конденсаторная батарея емкостью 9 мкф, заряжаемая до 0,3–10 кВ. При инъекции пучка в газовый промежуток длиной 10 см ме-

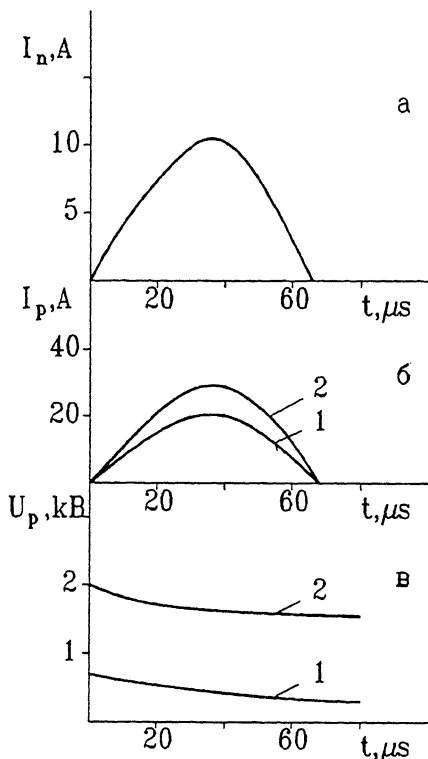


Рис. 1. Осциллограммы тока пучка электронов (а), тока (б) и напряжения горения (в) несамостоятельного разряда. 1 — $U_0 = 2$ кВ, 2 — $U_0 = 700$ В.

жду внутренней стенкой цилиндра и фольгой выводного окна зажигался несамостоятельный разряд, ток и напряжение которого показана на рис. 1. Здесь же приведены осциллограммы тока пучка, выведенного в атмосферу.

Облучение газа осуществлялось сериями по 100 импульсов. Контроль содержания SO_2 в смеси производился кондуктометрическим методом после каждой серии облучения. Для исключения влияния токов утечки по влажным изоляторам расследовалась смесь с малым содержанием паров воды. Ниже приведены результаты для модельной смеси $N_2:O_2:H_2O:SO_2=86:12:1:1$.

Для определения эффективности очистки модельной смеси от окислов серы по результатам экспериментов рассчитывалась величина ε — затраты энергии на удаление одной молекулы SO_2 (эВ/мол). Значение ε определялось как

$$\varepsilon = (W_n + W_p) n / e [SO_2],$$

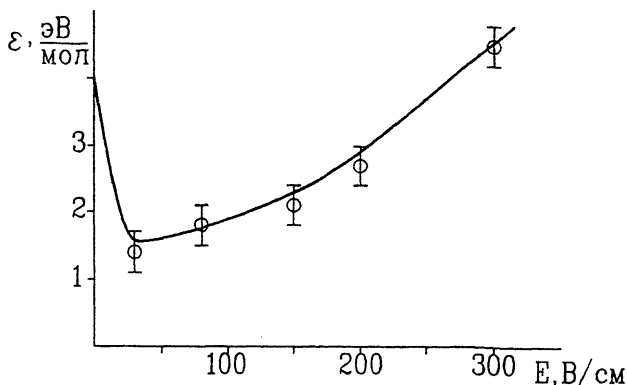


Рис. 2. Зависимость затрат энергии ϵ от напряженности электрического поля E .

где W_n , W_p — удельная энергия, вкладываемая в газ за один импульс пучком электронов и несамостоятельным разрядом соответственно, n — количество импульсов в серии облучения, e — заряд электрона, $[SO_2]$ — изменение концентрации примеси за серию импульсов. При напряженности внешнего поля $E < 500$ В/см основная доля энергии, поглощаемая газом, обеспечивалась электронным пучком.

Зависимость затрат энергии ϵ от величины напряженности электрического поля E в несамостоятельном разряде приведена на рис. 2. Эта зависимость имеет немонотонный характер. В отсутствие электрического поля затраты энергии составляют 4.2 эВ/мол. Это несколько выше, чем в [3], что связано, во-первых, с неоптимальной плотностью тока пучка, реализованной в данных экспериментах, во-вторых, с малым содержанием паров воды. С увеличением напряженности электрического поля величина ϵ снижается и при $E = 30 - 150$ В/см составляет 1.5–2.1 эВ/мол. Дальнейшее увеличение E вызывает рост затрат энергии и при $E > 1000$ В/см значение ϵ в наших экспериментах превышало 60 эВ/мол.

Полученные результаты могут быть качественно объяснены с привлечением представлений о цепном механизме окисления SO_2 с участием отрицательных ионов кислорода O_2^- и O_3^- и колебательно возбужденных молекул O_2^* [2–5]. В соответствии с этой моделью окисление SO_2 происходит в результате реакций с участием иона озона O_3^- и паров воды. К образованию ионов O_3^- ведут реакции с участием молекул O_2^* . В несамостоятельном разряде концентрация колебательно возбужденных частиц достаточно просто регулируется изменением температуры электронов, т. е. величиной внешнего электрического поля. Так, в [7]

показано, что в сухом атмосферном воздухе при низких полях ($E < 300$ В/см) бóльшая, до 6%, часть энергии, вкладываемой в газ разрядом, расходуется на возбуждение колебательных уровней O_2 . В условиях наших экспериментов, вероятно, наиболее эффективное участие молекул O_2^* в цепочке плазмохимических реакций осуществляется при $E = 30 - 150$ В/см. При увеличении напряженности электрического поля до 1000 В/см и выше концентрация колебательно возбужденных молекул кислорода снижается [7], в то время как величина вкладываемой в газ энергии растет. Это приводит к снижению эффективности цепного механизма и увеличению затрат энергии ϵ .

Характерно, что увеличение удельного энерговклада за счет тока несамостоятельного разряда незначительно. Соотношение энерговкладов от разряда W_p и пучка W_n в диапазоне $\epsilon = 30 - 150$ В/см не превышает $W_p/W_n \sim 10^{-3} - 10^{-2}$. Тем не менее столь небольшое увеличение суммарного энерговклада в случае реализации несамостоятельного разряда позволяет более чем в 2 раза снизить затраты энергии ϵ .

Список литературы

- [1] Proc. VI Int. Meeting of Rad. Proces. In.: Rad. Phys. Chem. 1988. V. 31. N 1-3. P. 1-331.
- [2] Баранчиков Е.И., Беленький Г.С., Деминский М.А. и др. // ХВЭ. 1991. Т. 25. В. 5. С. 460-465.
- [3] Игнатьев А.В., Кузнецов Д.Л., Месяц Г.А., Новоселов Ю.Н. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 22. С. 53-56.
- [4] Новоселов Ю.Н., // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 23. С. 58-61.
- [5] Кузнецов Д.Л., Месяц Г.А., Новоселов Ю.Н. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 7. С. 22-25.
- [6] Ефремов А.М., Ковальчук Б.М., Толкачев В.С., Шанин П.М. // ПТЭ. 1987. В. 1. С. 99-101.
- [7] Александров Н.А., Высикайло Ф.И., Исламов Р.Ш. и др. // ТВТ. 1981. Т. 19. В. 1. С. 22-27.

Институт электрофизики
Екатеринбург

Поступило в Редакцию
9 сентября 1994 г.